

Wasserstoffherstellung mittels solarbetriebener Hochtemperaturelektrolyse

22. Kölner Sonnenkolloquium, Köln, 10.07.2019

Nathalie Monnerie

DLR – Institut für Solarforschung



Wissen für Morgen



Wasserstoff

- Schlüsselrolle als erneuerbarer Kraftstoff für den Verkehrssektor.
 - Batteriefahrzeuge: limitiert in Reichweite und Ladungszeit.
 - Ressourcenlimitierung der Biokraftstoffe.
- Als chemischer Speicher von erneuerbarer Elektrizität verwendet.
- Industrieprozesse (z.B. Herstellung von Düngemitteln).



Wasserstoff

- Wasserstoff Markt:
 - Geschätzter Gesamtwert: USD 115 Mrd.
 - Wird in den kommenden Jahren voraussichtlich signifikant wachsen auf USD 155 Mrd. bis 2022.

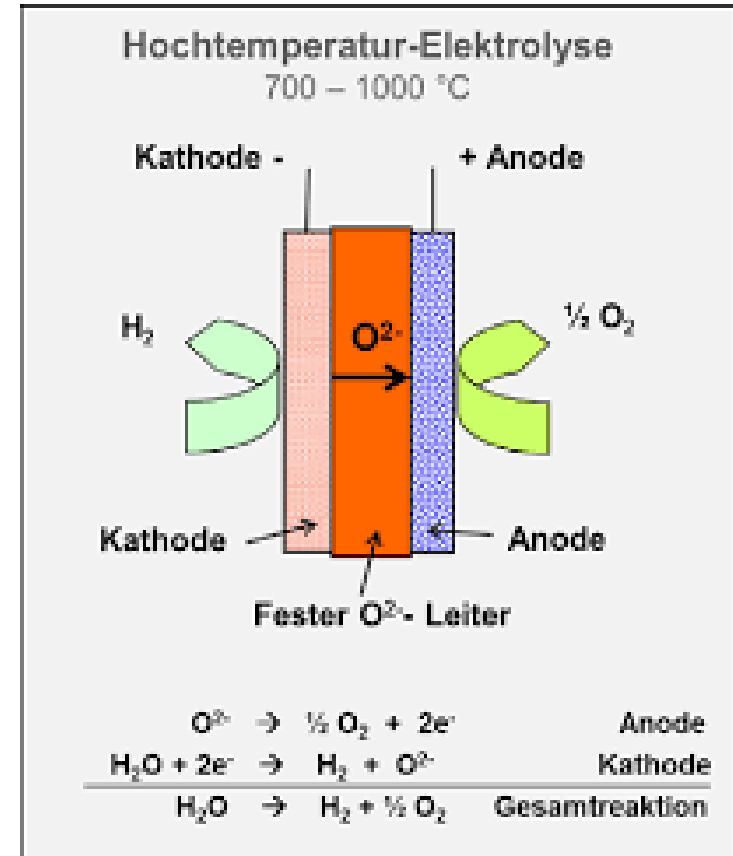
Jahr	1975	1990	2000	2010	2018
H ₂ Verbrauch [Mio. Ton]	18,2	34	52,4	62	73,9

- Über 95% der aktuellen Wasserstoffproduktion: fossile Brennstoffe - mit erheblichen damit verbundenen CO₂-Emissionen.
 - Dampf-Methan-Reformierung (SMR): gebräuchlichste Art, um Wasserstoff zu produzieren.
 - Öl- und Kohlevergasung: auch weit verbreitet (China und Australien), wenn auch in geringerem Maße als SMR.
- ➡ Entwicklung von CO₂-armen/freien Technologien zur Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen: von größter Bedeutung.



Hochtemperaturelektrolyse

- Wasserelektrolyse:
 - Alkalische (40-90°C)
 - Polymerelektrolytmembran (20-100°C)
 - Hochtemperaturelektrolyse (700-1000°C)
- Hochtemperaturelektrolyse:
 - Teil der notwendigen Reaktionsenthalpie als Wärme eingekoppelt.
 - Thermodynamische Zellspannung bei der Elektrolyse von Wasserdampf geringer als bei der Elektrolyse von flüssigem Wasser.



Quelle: Ceramtec



Hochtemperaturelektrolyse

- Mit einer Hochtemperaturwärmequelle bietet die Hochtemperaturelektrolyse hohe Wirkungsgrade.
- Benötigt weniger Strom - der verbleibende Teil der erforderlichen Spaltungsenergie als Wärme zugeführt.
 - Steht zu einem niedrigeren Preisniveau zur Verfügung.
→ Reduzierte Betriebskosten.
- Fortschritte in der Technologie aufgrund der Brennstoffzellenentwicklung.
- Ko-Elektrolyse von CO₂ und Wasser für die Herstellung von Synthesekraftstoffen.



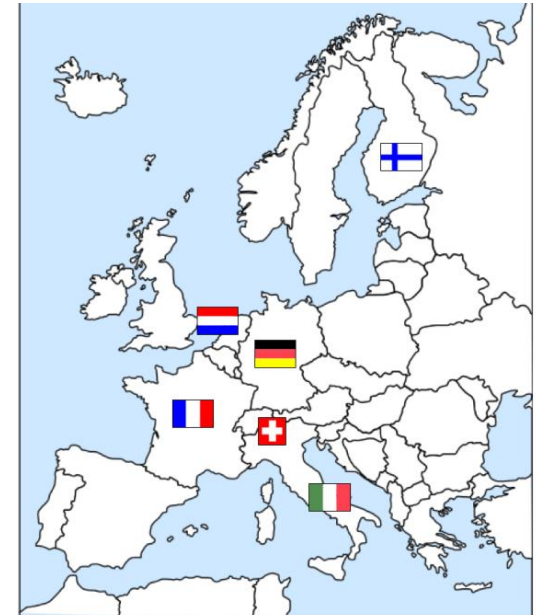
DLR-SF Forschung über Kopplung CSP-HTE



EU-Projekt SOPHIA



- Gefördert vom European Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU).
- Dauer 36 Monate (April 2014 – März 2017).
- Verfahren: solare Integration der Hochtemperaturelektrolyse.
- Konsortium (8):
 - HyGear B.V.
 - HTceramix SA
 - EPFL
 - DLR
 - CEA
 - ENGIE
 - VTT
 - SOFCPOWER SPA



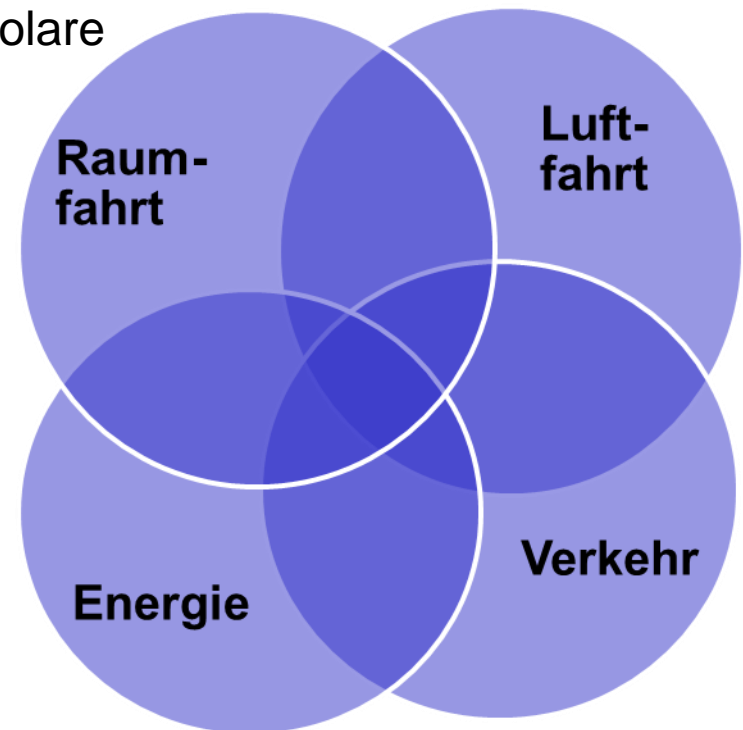
Projekt Futur Fuels (2015-2017)

- **Aufgaben (SF-SOL)**

- Kopplung SOEC mit Solarwärme.
 - Entwicklung und Bau von Solarreceiver zur Kopplung an SOEC.
 - Betrieb des Elektrolyseurs mit durch solare Wärme erzeugtem Wasserdampf.

- **Partner**

- DLR Institutes:
 - TT (Technische-Thermodynamik)
 - VT (Verbrennungstechnik)
 - SF (Solarforschung)
 - FK (Fahrzeugkonzepte)
 - VF (Verkehrsforschung)
 - AT (Antriebstechnik)
 - PA (Physik der Atmosphäre)



DLR QSP-Projekt Futur Fuels (2018-2021)

- **Ziel**

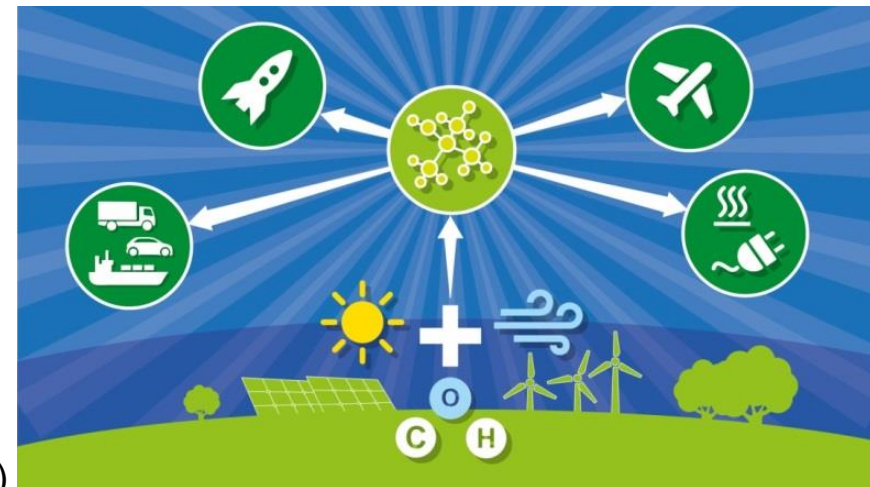
- Entwicklung, Anwendung und Demonstration von Future Fuels in Luftfahrt, Raumfahrt, Energiewirtschaft und Verkehr (Pkw, Lkw, Bahn, Schiffe)

- **Aufgaben (5) (SF-SOL: 1)**

- TP2: Solar fuels & Rückverstromung

- **Partner: DLR Institute**

- BT (Bauweisen und Strukturtechnologie)
- FK (Fahrzeugkonzepte)
- FX (Flugexperimente)
- FW (Flughafenwesen und Luftverkehr)
- LY (Lufttransportsysteme)
- PA (Physik der Atmosphäre)
- RA (Raumfahrtantriebe)
- SF (Solarforschung)
- TT (Technische-Thermodynamik)
- VF (Verkehrsforschung)
- VT (Verbrennungstechnik)
- VE (assoziiert) (vernetztes Energiesystem)



Prozesssimulation



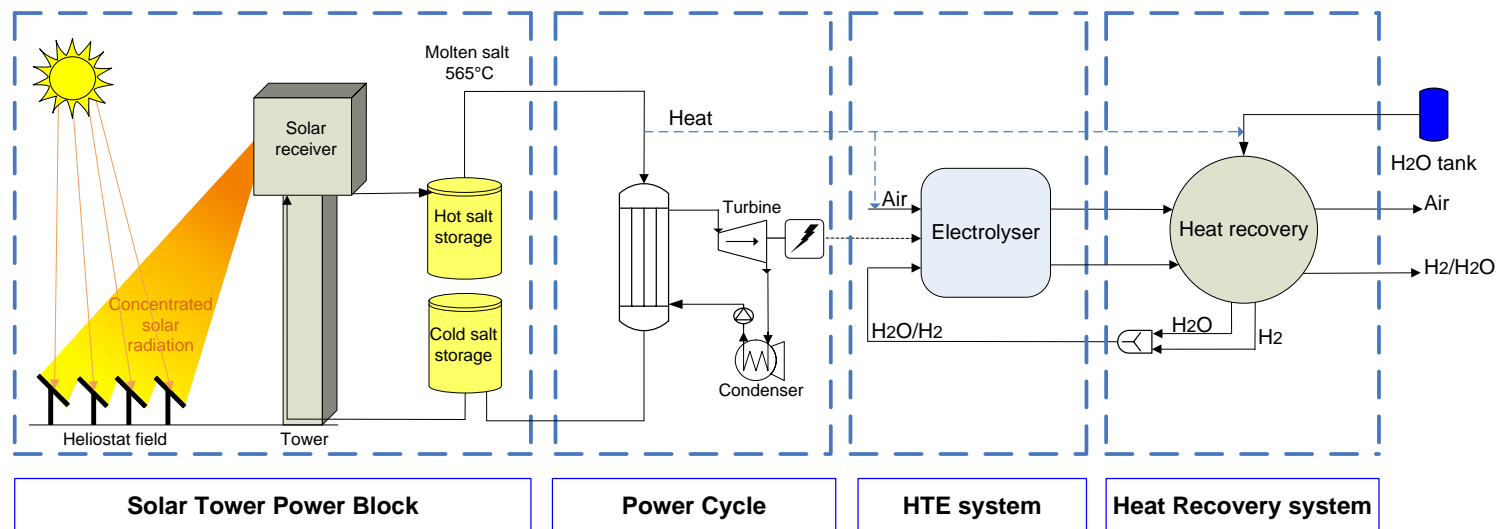
Flow Sheeting der Kupplung von HTE mit konzentrierter Sonnenenergie

- H₂-Produktionsanlage in größerem Maßstab.
 - Erarbeitung und Simulation von Flow-sheets der Prozesskonzepte mit Aspen Plus.
 - Material- und Energiebilanzen.
- Simulation der Prozesse für eine Wasserstoffproduktionsrate von 400 kg/Tag (Wasserstoff-Tankstellenszenario) und 4000 kg/Tag (industrielle Nutzung).
- Design des Solarteils mit HFLCAL.
- Leistungsanalyse.
- Betriebszustand:
 - T=750°C; P=15 bar; Spülgas = Luft; Wasserdampf zu Wasserstoff Umwandlung = 50%.

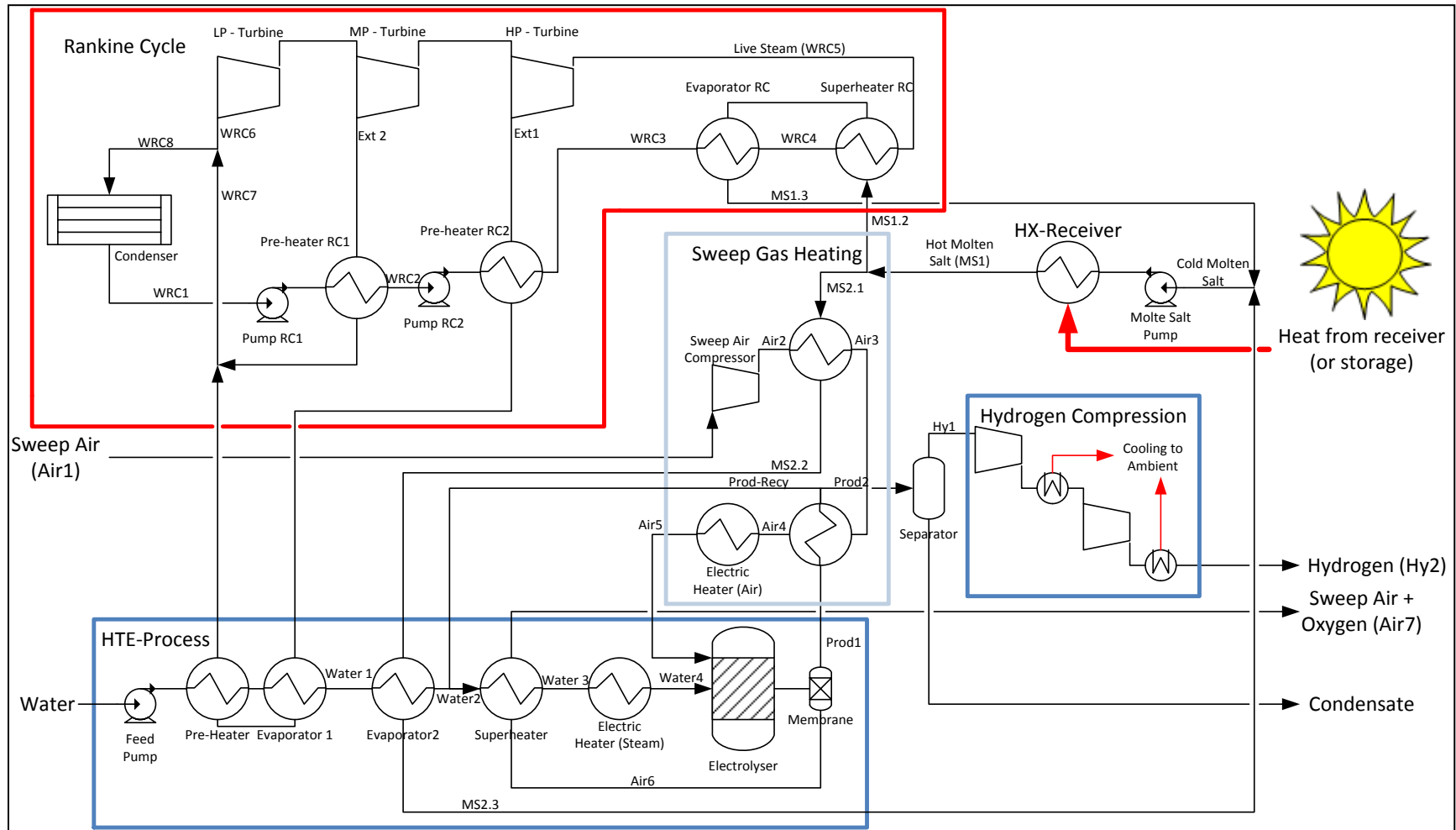


Flussdiagramm der Kopplung von HTE mit konzentrierter Sonnenenergie

- Kopplung des unter Druck stehenden HT-Elektrolyseurs mit dem geschmolzenen Salz Solarturm.
- Vorteil: Wärmespeicher integriert.
- Flussdiagramm der Kombination aus Solarturm und Elektrolyseur.



Scale-up H₂ Produktionsanlage: CSP molten Salt solar Turm



Scale-up H₂ Produktionsanlage: CSP geschmolzenes Salz solar Turm – energetische Bewertung

	Mobility Scale	Industrial Scale, improved RC
Thermal Energy Input (kW)	6077	48981
Efficiency Rankine Cycle	27.1 %	33.8 %
Electricity Consumption Electrolyser (kW)	1391	13919
Hydrogen Production (kg/h)	33.33	333.33
Thermal-to-Fuel Efficiency (H ₂ (HHV) / thermal energy input)	21.6 %	26.8 %

Wärmeträgerflüssigkeit : Geschmolzenes Salz → 565°C / 20 bar



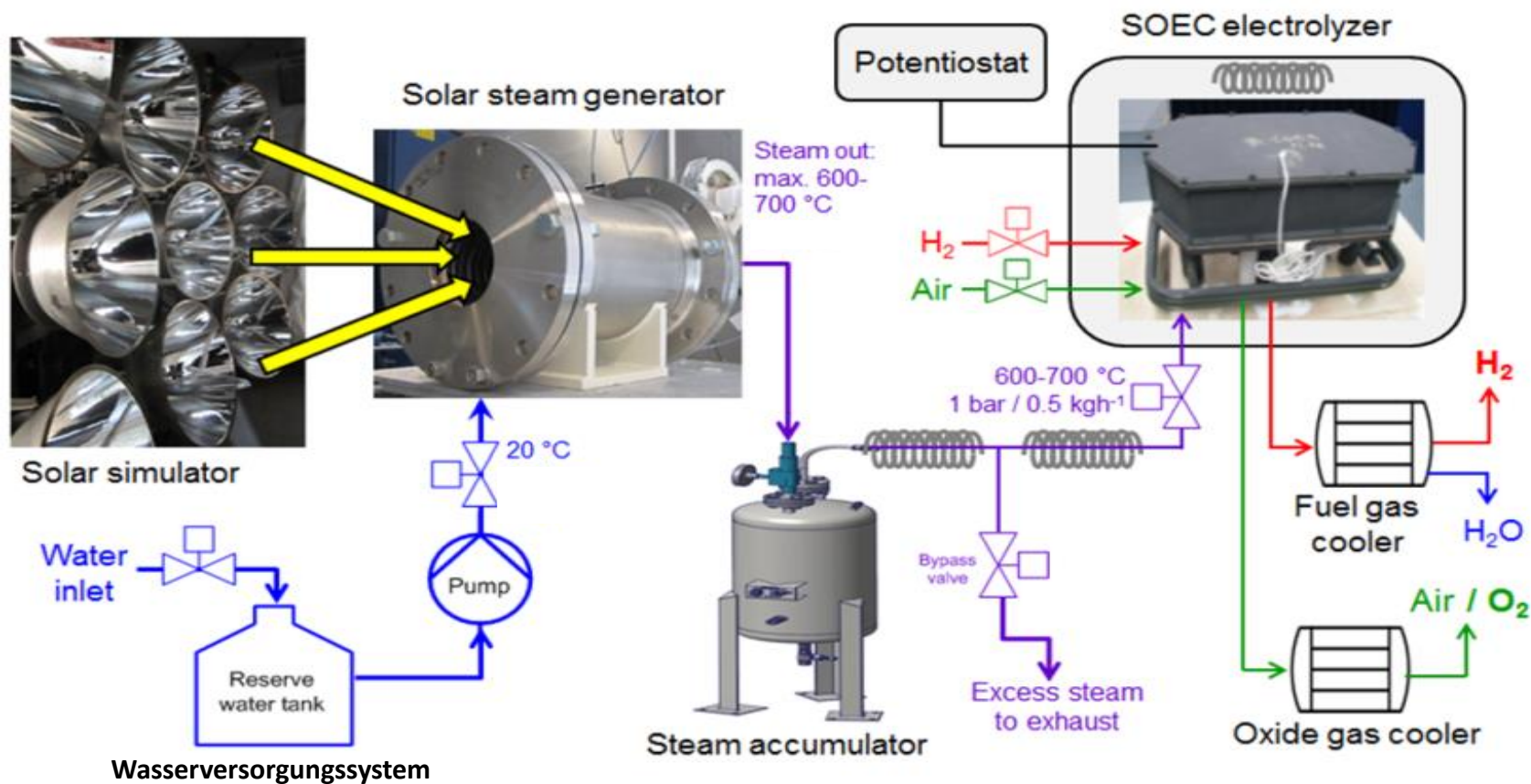
Systemtests



Systemtests - Design, Entwicklung und Optimierung des solaren Receivers für die Kopplung von Solarwärme mit SOEC



Experimenteller Aufbau eines in Solarwärme integrierten SOE-Systems

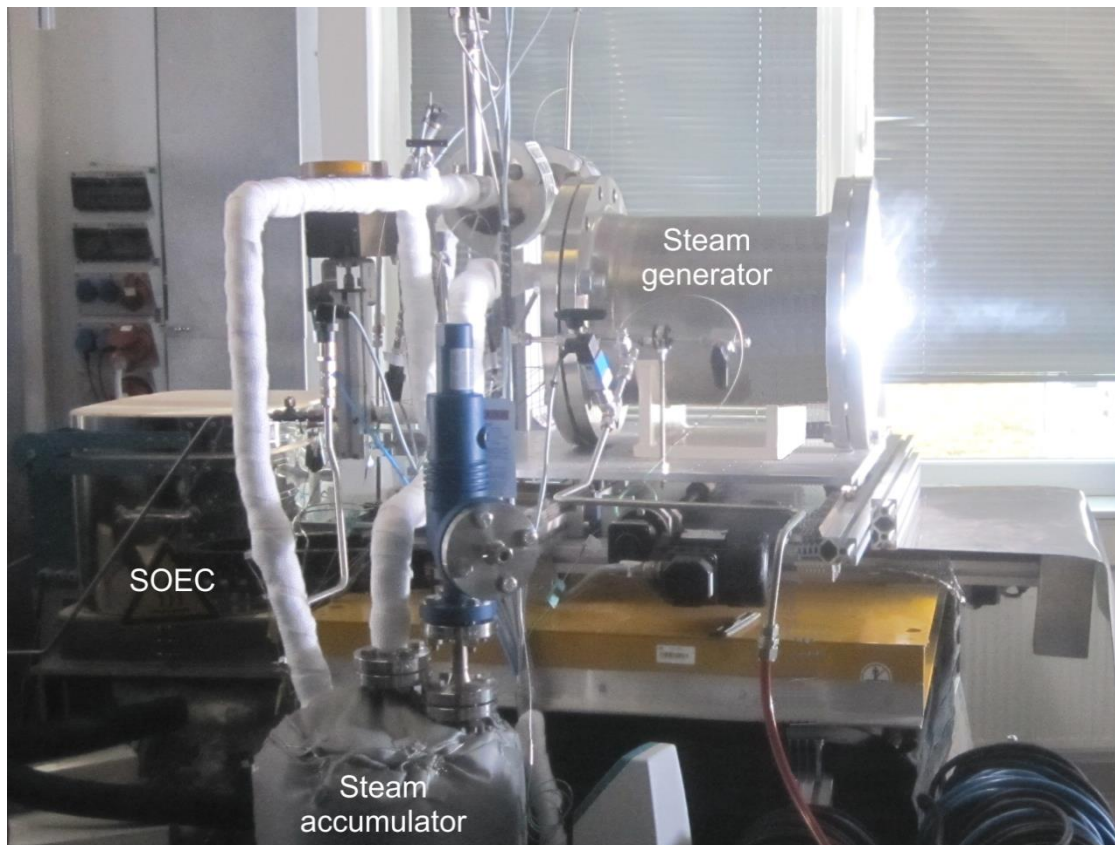


Experimenteller Aufbau eines in Solarwärme integrierten SOE-Systems

- Der SOEC-Stack wurde sowohl in der Betriebsart Strom-Spannungsmessung als auch in der Betriebsart Langzeitstabilität betrieben.
- Alle Systemkomponenten wurden aus der Ferne von industriellen speicherprogrammierbaren Steuerungen kontrolliert.
- Dies gewährleistet einen sicheren und zuverlässigen Betrieb: um mögliche Systeminstabilitäten zu überwachen, wurde eine schnelle Datenabtastrate von 1s gewählt.



Experimenteller Aufbau eines in Solarwärme integrierten SOE-Systems



- Stabiler Zustand erreicht
- Dampfumwandlungsrate: 70 %
- Siehe DLR Pressemitteilung:

https://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10176/372_read-27203/#/gallery/30470

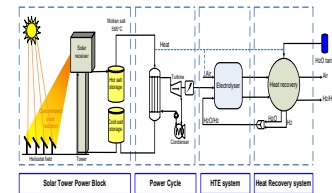
- ➡ HTE erfolgreich mit solarthermisch erzeugtem Dampf realisiert.

**Produktion von solar Wasserstoff
8.4 SLPM**



Zusammenfassung

- Wasserstoff: Schlüsselrolle als erneuerbarer Kraftstoff.
- Hochtemperaturelektrolyse: hohe Wirkungsgrade.
- Studie der Kopplung CSP-HTE.
- Ausbildung von Flowdiagrammen und Simulation von Flowsheets für die solare Hochtemperaturelektrolyse mit Solarturmtechnologie betrieben mit dem Simulationstool Aspen Plus 8.4.
- Design, Entwicklung und Optimierung von Solarreceivern zur Kopplung von Solarwärme mit HTE.
- Machbarkeit der Technologie im Labormaßstab bewiesen und erfolgreiche Integration der solar Wärme in den SOEC.
 - Solar Wasserstoff wurde produziert.



Danke an:

Jan Reinhold, Martin Thelen, Pradeepkumar Sundarraj, Vamshi Krishna Thanda, Henrik von Storch, Gerd Dibowski, Christian Willsch (DLR-SF)
Günter Schiller, Michael Lang, Patric Szabo (DLR-TT)
FCH-JU (Projekt SOPHIA (Grant Agreement No. 621173))
DLR (Projekte Future Fuels)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Nathalie Monnerie

Solar Research (SF-SOL)

nathalie.monnerie@dlr.de